

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS ✓
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

REPUBLICA DE CHILE



MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y RECONSTRUCCION

DEPARTAMENTO DE PROPIEDAD INDUSTRIAL


**CERTIFICADO OFICIAL**

El Jefe del Departamento de Propiedad Industrial y el Conservador de Patentes de Invención que firman, certifican que las copias (38) adjuntas corresponden a solicitud de Patente de Invención.

**N°189 - 2003**

Presentada en Chile con fecha:

**31 DE ENERO DE 2003**

  
Rogelio Campusano Sáez  
Conservador de Patentes de Invención



Eleazar Bravo Manríquez  
Jefe Departamento de Propiedad Industrial


Santiago, 29 de Octubre de 2003.

**SILVA & Cía.**  
ABOGADOS

P00219

ORIGINAL

INSTRUCCIONES:  
1.- LLENAR SOLAMENTE LOS RECUADROS DE TONO ROSADO CON CARACTERES NEGROS DE MAQUINADO MANUSCRITO)  
2.- SE ENTENDE POR PRIORIDAD AQUELLA PROTECCION SOLICITADA O CONCEDIDA ANTERIORMENTE POR EL MISMO INVENTO, GENERALMENTE EN EL EXTRANJERO

22 FECHA DE SOLICITUD  DIA      MES      AÑO  41  DIA      MES      AÑO		 REPUBLICA DE CHILE MINISTERIO DE ECONOMIA FOMENTO Y RECONSTRUCCION SUBSECRETARIA DE ECONOMIA DEPTO. PROPIEDAD INDUSTRIAL		11 NUMERO DE PRIVILEGIO
				21 NUMERO DE SOLICITUD  0189      2003
12 TIPO DE SOLICITUD <input checked="" type="checkbox"/> PATENTE DE INVENCION <input type="checkbox"/> PATENTE DE PRECAUCIONAL <input type="checkbox"/> MODELO DE UTILIDAD <input type="checkbox"/> DISEÑO INDUSTRIAL <input type="checkbox"/> TRANSFERENCIA <input type="checkbox"/> CAMBIO DE NOMBRE <input type="checkbox"/> LICENCIA		PRIORIDAD: TIPO <input type="checkbox"/> PATENTE DE INVENCION <input type="checkbox"/> PATENTE PRECAUCIONAL <input type="checkbox"/> MODELO DE UTILIDAD <input type="checkbox"/> DISEÑO INDUSTRIAL ESTADO <input type="checkbox"/> CONCEDIDA <input type="checkbox"/> EN TRAMITE	DOCUMENTOS ACOMPAÑADOS <input checked="" type="checkbox"/> RESUMEN <input checked="" type="checkbox"/> MEMORIA DESCRIPTIVA <input checked="" type="checkbox"/> PUEGO DE REIVINDICACIONES <input checked="" type="checkbox"/> DIBUJOS <input type="checkbox"/> PODER <input type="checkbox"/> CESION <input type="checkbox"/> COPIA PRIORIDAD <input type="checkbox"/> PROTOTIPO <input type="checkbox"/> CERTIFICADA <input type="checkbox"/> TRADUCIDA AL ESPAÑOL	
TITULO O MATERIA DE LA SOLICITUD  <b>SISTEMA Y MÉTODO DE MEDICIÓN DIRECTA EN LÍNEA DE VARIABLES PARA ESTIMAR Y ANALIZAR LA CARGA INTERNA DINÁMICA DE MOLINOS ROTATORIOS EN PROCESOS DE MOLINDA DE MINERALES.</b>				
71 SOLICITANTE(S): (APELLIDO PATERNO, APELLIDO MATERNO, NOMBRES - CALLE, COMUNA, CIUDAD, PAIS, TELEFONO) <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.</b> Av. España 1680, Valparaíso.  <b>UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE,</b> Av. Libertador B O'Higgins 3363, Santiago				
72 INVENTOR O CREADOR : (APELLIDO PATERNO, APELLIDO MATERNO, NOMBRES - NACIONALIDAD) — Pontt Olivares, Jorge Antonio. — Sepúlveda Villalobos, Germán Arnaldo. — Perelli Bacigalupo, Ennio Carlo. — Valderrama Reyes Waldo Marcelo. — Magne Ortega, Luis Alberto. — Velásquez Lambert, Claudia Paola.				
74 REPRESENTANTE: (APELLIDO PATERNO, APELLIDO MATERNO, NOMBRES - CALLE, COMUNA, CIUDAD, TELEFONO) <b>ESTUDIO SILVA &amp; Cía.</b> Juan Pablo Silva Dorado.      Gonzalo Sánchez Serrano. Patricio Silva Del Campo.      Marcos Morales Andrade. Francisco Javier Silva Dorado.      Arturo Covarrubias Vargas. Jaime Silva Barros.      Milena Alcayaga García. Todos domiciliados en: Hendaya 60, piso 4, Las Condes, Santiago, CHILE. Fono: (56-2) 372 04 40 Fax: (56-2) 372 04 44      e-mail: <a href="mailto:mail@silva.cl">mail@silva.cl</a>				
DECLARACIÓN: DECLARAMOS QUE LOS DATOS QUE APARECEN EN LOS RECUADROS DE TONO ROSADO SON VERDADEROS Y TAMBIÉN CONOCER EL ART. 44 DE LA LEY Nº 19.039 SOBRE PROPIEDAD INDUSTRIAL Y QUE EL PRESENTE DOCUMENTO CONSTITUYE UNA SOLICITUD FORMAL.				
FIRMA Y R.U.T. REPRESENTANTE  5.926.204 - 1		FIRMA Y R.U.T. SOLICITANTE		

RECEPCION





# SILVA & CIA.

## ABOGADOS



(19) REPUBLICA DE CHILE  
MINISTERIO DE ECONOMIA  
FOMENTO Y RECONSTRUCCION  
SUBSECRETARIA DE ECONOMIA

DEPARTAMENTO DE PROPIEDAD INDUSTRIAL

(11) N° REGISTRO

(12) TIPO DE SOLICITUD:

- ☒ INVENCIÓN ☐ MODELO DE UTILIDAD  
☐ PRECAUCIONAL ☐ MEJORA  
☐ REVALIDA

(43) Fecha de Publicación:

(51) Int. Cl. °:

(21) Número de Solicitud:

(22) Fecha de Solicitud 31.01.2003

(30) Número de Prioridad: (país, n° y fecha)

(72) Nombre Inventor(es): (Incluir dirección)

(71) Nombre Solicitante: (Incluir dirección y tel.)

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO  
SANTA MARÍA.**  
Av. España 1680, Valparaíso.

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE  
CHILE,**  
Av. Libertador B O'Higgins 3363, Santiago

**Jorge Pontt Olivares.** **Waldo Valderrama Reyes.**  
Los Abetos 182, Viña del Mar Alvaros 2400 casa 5,  
Viña del Mar  
**Germán Sepúlveda Villalobos**  
Vega 789 D51, C° Barón Valpo **Luis Magne Ortega.**  
Pasaje Jahuel 477, Maipú, Stgo  
**Ennio Perelli Bacigalupo.** **Claudia Velásquez Lambert.**  
Los Muermos 1170 Casa 1, **Marjo 574 Dpto. 101, Stgo.**  
Rosques de Montemar, Concón **(74) Representante: (Incluir dirección y teléfono)**

**ESTUDIO SILVA & CIA.**

Juan Pablo Silva Dorado y/o Gonzalo Sánchez Semano y/o  
Patricio Silva Del Campo y/o Marcos Morales Andrade y/o  
Francisco J. Silva Dorado y/o Arturo Covarrubias Vargas y/o  
Jaime Silva Barros y/o Milena Alcayaga García.  
Hondays 60 piso 4, Las Condes, Santiago. B (562) 372 04 40

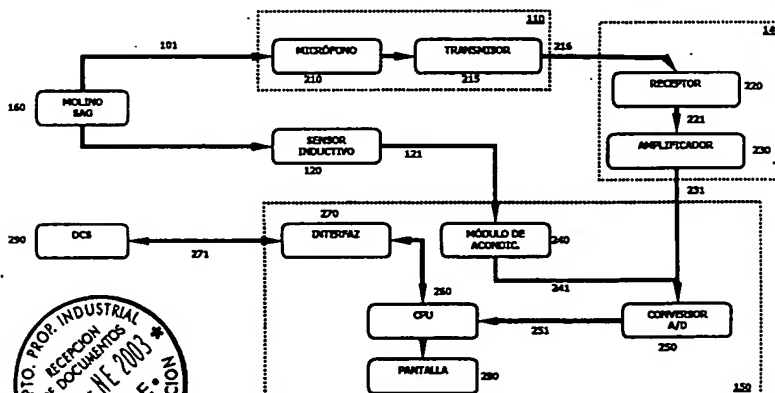
(54) Título de la invención: (máximo 330 caracteres)

**SISTEMA Y MÉTODO DE MEDICIÓN DIRECTA EN LÍNEA DE VARIABLES PARA ESTIMAR Y  
ANALIZAR LA CARGA INTERNA DINÁMICA DE MOLINOS ROTATORIOS EN PROCESOS DE  
MOLIENDA DE MINERALES.**

(57) Resumen: (máximo 1600 caracteres)

La presente invención consiste en un sistema y método para medir en forma directa, dinámica y en línea diversos parámetros relativos al volumen ocupado dinámicamente por la carga interna de molinos rotatorios, cuando éstos se encuentran en operación, específicamente una medición en línea del llenado volumétrico de carga total dinámico, llenado volumétrico de bolas dinámico, llenado volumétrico de mineral dinámico y de la densidad aparente de la carga interna del molino. La invención está constituida principalmente por una serie de sensores acústicos inalámbricos adosados al manto del molino, una unidad receptora y/o acondicionadora ubicada en las cercanías del molino, una unidad de procesamiento y una unidad de comunicación. Las variables de salida del sistema son transmitidas al sistema de control de planta para estabilizar la operación del molino al agregar nuevo conocimiento a la toma de decisiones de control, lo que permite aumentar el tonelaje procesado promedio, disminuyendo las singularidades operacionales (detenciones, oscilaciones en el nivel de llenado, inspecciones de revestimiento, y otras) a lo largo del tiempo, el aprovechamiento óptimo de la energía eléctrica que acciona el motor del molino, y el buen manejo del movimiento de la carga.

100



## MEMORIA DESCRIPTIVA

### CAMPO DE APLICACIÓN

La presente invención se refiere a la molienda de minerales, más específicamente a un sistema y método de medición directa en línea de variables de proceso de molienda, más específicamente a un sistema y método para estimar y analizar la carga interna dinámica de Molinos Rotatorios.

### DESCRIPCIÓN DEL ARTE PREVIO

La molienda de minerales constituye un proceso importante en la línea productiva de metales. Este proceso se efectúa generalmente con molinos rotatorios de gran tamaño, los que utilizan bolas de acero libres en su interior como medios de molienda, para facilitar la transferencia de energía mecánica para el desgaste y fractura del mineral. Los molinos se encuentran recubiertos interiormente por piezas de acero removibles denominadas "revestimientos", cuya vida útil depende en gran medida del buen manejo del movimiento de la carga, compuesta por mineral, medios de molienda y agua. Estos molinos son llamados molinos semiautógenos (SAG).

Los actuales sistemas de molienda tienen desventajas que no les permite tener una mayor eficiencia, es así como la vida útil del revestimiento es corta debido a que la carga está cayendo no solo sobre si misma sino también sobre el revestimiento del molino, con tanta agresividad que se dañan los medios de molienda y el revestimiento también, produciendo una subutilización de la capacidad de molienda del molino, debiendo ser detenido y reparado periódicamente, con los costos que ello involucra en la línea de producción de la molienda de los metales.

Un aspecto importante en el control de estos molinos ha sido conocer el llenado volumétrico de carga interna (mineral y/o bolas), para lo cual tradicionalmente se han



utilizado diferentes métodos indirectos de estimación utilizando la presión del aceite de los diversos descansos que los soportan (PSI). La utilización de las PSI genera grandes errores debido a la dependencia de ésta de factores como la temperatura, viscosidad del aceite, velocidad del molino, posición de la carga dentro del molino, etc.

Ninguno de los sistemas actuales hace una medición directa y en línea de los parámetros relacionados con el movimiento y la composición de la carga en molinos rotatorios, lo que a su vez permite la optimización del proceso de molienda y el aumento en la disponibilidad de los molinos.

Los sistemas y métodos utilizados actualmente en la operación de los molinos estiman indirectamente estos parámetros a partir de supuestas correlaciones con otras variables de proceso. Por ejemplo, el llenado volumétrico de carga total es correlacionado con la presión de los descansos, valor que presenta variaciones con la velocidad, el desgaste de revestimientos, la temperatura y la proporción entre el llenado volumétrico total y el llenado volumétrico de bolas.

Por otra parte, para la medición del llenado volumétrico de bolas generalmente es necesario vaciar el mineral existente dentro del molino y luego detenerlo para realizar inspecciones visuales del contenido de bolas existente. Esta operación dura alrededor de una hora, lo que implica una considerable pérdida de producción.

En la primera mitad del siglo pasado se inventó un dispositivo para estimar nivel de llenado en molinos que consiste en un micrófono que detecta solamente la intensidad general de ruido acústico en las cercanías del molino, sin discriminar si se trata de impactos, ruido del volteo natural de la carga o ruido de una fuente externa e independiente, enviando su única salida como señal de corriente al sistema control de planta.

Otro dispositivo es un "Estimador en línea del ángulo de carga", desarrollado por el CIMM, utiliza un sensor adosado al casco del molino, utilizando el concepto de



ángulo de carga para estimar sólo el llenado volumétrico de carga. Su principio de funcionamiento consiste en estimar el ángulo de carga a partir del sonido generado, e inferir el llenado volumétrico de carga, asumiendo que existe una correlación entre ambas variables. Esta estimación del ángulo de carga es una aproximación simple e idealizada del comportamiento interno de la carga, ya que no refleja el comportamiento real del perfil de la carga dentro del molino cuando gira a velocidades de operación normal.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención consiste en un sistema y método para medir en forma directa, dinámica y en línea diversos parámetros relativos al volumen ocupado dinámicamente por la carga interna de molinos rotatorios, cuando éstos se encuentran en operación. La invención está constituida principalmente por una serie de sensores acústicos inalámbricos adosados al manto del molino, una unidad receptora y/o acondicionadora ubicada en las cercanías del molino, una unidad de procesamiento y una unidad de comunicación. Las variables de salida del sistema son transmitidas al sistema de control de planta, información que puede ser utilizada por éste en forma automática o manual.

Por lo tanto un objetivo de la presente invención es aumentar la eficiencia en el proceso de molienda y la disponibilidad del molino mediante una medición en línea del llenado volumétrico de carga total dinámico, llenado volumétrico de bolas dinámico, llenado volumétrico de mineral dinámico y de la densidad aparente de la carga interna del molino.

Otro objetivo de la presente invención es permitir una visualización en tiempo real del pie de la carga, que corresponde a la posición estimada donde los levantadores entran en contacto con la carga en movimiento, y del hombro de la carga, que



corresponde a la posición de donde la carga comienza a caer hacia el pie de la carga, además de los valores calculados por el sistema y los datos más relevantes.

Otro objetivo es estabilizar la operación del molino al agregar nuevo conocimiento a la toma de decisiones de control; lo que permite aumentar el tonelaje procesado promedio, disminuyendo las singularidades operacionales (detenciones, oscilaciones en el nivel de llenado, inspecciones de revestimiento, y otras) a lo largo del tiempo, el aprovechamiento óptimo de la energía eléctrica que acciona el motor del molino, y el buen manejo del movimiento de la carga.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LA FIGURAS

La figura 1 representa en forma esquemática una descripción simple del sistema de la presente invención.

La figura 2 representa un diagrama en bloques del esquema general del sistema de la presente invención.

La figura 3 muestra un diagrama en bloques del sensor acústico inalámbrico.

La figura 4 muestra un diagrama en bloques del sensor inductivo.

La figura 5 representa un esquema en bloques del aparato receptor.

La figura 6 muestra un diagrama en bloques de la unidad de procesamiento.

Las figura 7a y 7b muestran diferentes realizaciones, en posición y distribución, de los sensores acústicos sobre la carcasa del molino.

La figura 8 muestra un diagrama en bloques del método operativo de la invención.

La figura 9 muestra un diagrama en bloques de la etapa del cálculo del pie de la carga del método operativo de la invención.

La figura 10 muestra un diagrama en bloques de la etapa del cálculo del hombro de la carga del método operativo de la invención.





## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

La figura 1 describe una realización preferida de la presente invención, en un sistema (100) un molino SAG (160) tiene sobre su manto un sensor acústico inalámbrico (110), encargados de captar y transmitir inalámbricamente el sonido proveniente desde el interior del molino SAG (160); en un costado se encuentra un sensor de sincronismo (120) capaz de detectar el paso de un elemento metálico (130) adosado convenientemente al manto del molino y trasmitir una señal de sincronismo para identificar la posición angular del sensor acústico inalámbrico (110), a un medio de recepción y acondicionamiento (140), encargado de recibir las señales entregadas por el sensor (110); un medio de procesamiento y control (150) recibe las señales enviadas por el receptor (140) y el sensor de sincronismo (120), para el procesamiento de las variables del sistema (100).

La figura 2 describe un diagrama en bloque de los medios electrónicos que conforman el sistema (100) de la presente invención. El sonido (101), producido en el interior del molino, es captado por un micrófono acústico (210) que entrega una señal al transmisor inalámbrico (215), la señal (216) transmitida por el transmisor (215) es recepcionada por el receptor (220) que entrega una señal (221) al amplificador (230) y este envía una señal análoga (231) a la unidad de procesamiento y control (150), que la recibe en una unidad conversora de señal análoga a digital (250). El sensor de sincronismo (120) genera una primera señal de sincronismo (121) para determinar la posición relativa de los medios sensores (110). La unidad de procesamiento y control (150) recibe la señal (121) del sensor de sincronismo (120), que es procesada por un módulo de acondicionamiento (240) que envía una segunda señal de sincronismo (241) a la unidad conversora de señal análoga a digital (250). La unidad conversora de señal análoga a digital (250) entrega una señal digital (251) a una CPU (260) que maneja un



medio de interfaz entrada/salida (270) necesario para permitir la comunicación bidireccional (271), que puede ser análoga o digital, con el sistema de control de la planta DCS (290). Además, posee medios de visualización (280), que permite ver en tiempo real los valores calculados por el sistema (100) y los datos de operación más relevantes.

La figura 3 muestra un diagrama en bloque del sensor acústico inalámbrico (110), el que está compuesto de al menos un micrófono (210), un preamplificador (212), un transmisor inalámbrico (215) y una fuente de poder (330), todo encerrado en un gabinete metálico de doble compartimiento (que no se muestra), adecuado a las condiciones medioambientales y mecánicas, montado en el manto del molino mediante un sistema de aislamiento con medios para disminuir el efecto de las vibraciones. El micrófono (210) puede ser activo (con preamplificador (212)) o pasivo y adecuado para soportar la intensidad del sonido proveniente del molino, el cual está aislado acústicamente dentro del sensor acústico (110), siendo soportado por una estructura de goma para disminuir el efecto de las vibraciones acústicas y mecánicas en el comportamiento del micrófono (210).

La figura 4 muestra el diagrama en bloque del sensor de sincronismo (120), alimentado por, una fuente de poder (430) que entrega una señal de posición de referencia (121); el sensor de sincronismo (120) puede ser de tipo capacitivo u óptico, de preferencia inductivo, ubicado convenientemente, para detectar el paso de un elemento metálico (130) adosado al manto, con cada revolución del molino, pudiendo incluso llegar a ser el mismo sensor acústico (110) el que sea detectado. El pulso (121) generado con cada revolución del molino debe ser enviado a la unidad de procesamiento y control (150) a través de la unidad de acondicionamiento (240) y del conversor A/D (250).



El transmisor (215) puede ser de tecnología digital o analógica y puede operar en bandas de microondas, UHF o VHF, según sea necesario, de preferencia un transmisor UHF de alta fidelidad.

La fuente de poder (330) puede ser en base a baterías, para lo cual se utilizan celdas recargables de NiMH, Li-ion o Ion-polímero o baterías multiceldas para lograr una autonomía mínima de 45 días. Posee, además, un regulador de voltaje que permite proporcionar una tensión constante al transmisor (215). Esta fuente de poder puede tener asociado un sistema de carga externa, que es utilizado para recargar las baterías una vez que han agotado su capacidad. Este sistema (que no se muestra), está compuesto por circuitos de carga independiente en igual número que la cantidad de celdas utilizadas. Posee control de carga por corriente y por voltaje y protecciones de temperatura y de tiempo máximo de carga.

También el sistema de carga puede ser interno y en base a autogeneración, con acumulador intermedio, por medio de un generador tipo péndulo y dínamo aprovechando el giro del molino, o por medio de un generador de tipo magnético, aprovechando la inducción del campo magnético, presente en las inmediaciones del molino, como un arreglo de espiras que giran con el molino o por cualquier mecanismo que transforma las vibraciones del molino en energía eléctrica.

La figura 5 describe un diagrama en bloques del receptor (140) que realiza la recepción y acondicionamiento de las señales (216) entregadas por el transmisor (215) y transformarlas en una señal eléctrica (231) que pueda ser transmitida vía cable hasta la unidad de procesamiento y control (150), debe usar la misma tecnología que el transmisor (Analógica o Digital y microondas, UHF o VHF). En algunos casos y dependiendo de las distancias involucradas, este bloque puede estar junto a la unidad de procesamiento y control (150). Es alimentada por la red eléctrica (110 ó 220 VAC, 50 ó 60 Hz) (235), la que es acondicionada por un filtro de línea (236) y un transformador



de aislamiento (237) para eliminar el eventual ruido eléctrico de alta frecuencia que pudiera estar presente en la alimentación. Dependiendo de las condiciones particulares de la aplicación, se puede incorporar, además, una etapa de acondicionamiento de la señal, ya sea para transformarla en una señal de voltaje, una señal de corriente o una señal óptica.

La figura 6 describe la CPU (260) y los medios de interfaz entrada/salida (270) necesarios para permitir la comunicación bidireccional con el sistema de control de planta (290) (DCS), para leer los datos de proceso necesarios para los distintos métodos operativos del sistema (100). Además, la CPU (260) envía al DCS (290) los resultados generados por el sistema (100). Su composición depende de cada planta en particular, pero puede contener módulos de comunicación serial (RS-232, RS-485, RS-422, etc.) o módulos de comunicación de redes (LAN, TCP/IP, etc.). Además, está formado por un medio de almacenamiento de datos (280), como puede ser un HDD u otro similar, y de una unidad de despliegue de información (285), como puede ser una pantalla de computador. El bloque de procesamiento y control (150) está formada por un conversor A/D (250) y la unidad de procesamiento propiamente tal. Su función es procesar las señales acústicas (231 y 241), provenientes respectivamente desde el medio de recepción y acondicionamiento (140), y desde el sensor de posición de referencia (120), para calcular los ángulos de pié de carga y hombro de carga, el llenado volumétrico de carga dinámico, el llenado volumétrico de bolas dinámico, el llenado volumétrico de mineral dinámico y estimar la densidad aparente de la carga.

Dicha unidad de procesamiento (150) está constituida por algún tipo de procesador electrónico, como puede ser un PC, DSP, microcontroladores, microprocesadores, etc. En general, puede estar compuesta por un computador, tipo PC o industrial, o cualquier unidad de procesamiento en la familia de microprocesadores, microcontroladores o DSP's.



Las figuras 7a y 7b describen las posibles posiciones y distribuciones que puede tener el sistema (100), cuando se dispone de más de un sensor acústico inalámbrico (110). En la figura 7a se muestran desde una hasta cuatro posiciones sobre el perímetro del manto del molino (160), para sensores (110). En la figura 7b se enseñan la cantidad de sensores que se pueden montar para cada una de las posiciones mostradas en la figura 7a; por lo tanto, es posible configurar el sistema (100) con una cantidad de sensores acústicos (110), que van desde un sensor hasta, a lo menos 12 sensores distribuidos como se muestra en las figuras 7a y 7b.

La figura 8 muestra un diagrama en bloques del método operativo de la invención. Las señales digitales del sonido y el pulso de sincronismo (251) son analizadas temporalmente para determinar la porción de sonido correspondiente a un giro completo del molino más el último cuarto del giro anterior y el primer cuarto del giro siguiente, haciéndose cero el primer y el último punto de la señal resultante (501), de tal modo de evitar los efectos de borde del proceso de filtrado posterior. Además, se define la referencia cero de la posición angular del sensor acústico (110) en base a la señal de sincronismo, identificando el inicio y el término de un giro y transformando el eje temporal en un eje angular equivalente, asignando la referencia de 0 grados a la vertical del molino. Los métodos operativos Cálculo de Pie (510) y Cálculo de Hombro 520 toman la señal resultante (501) y la procesan espectralmente para calcular el ángulo del pie de carga (511) y el ángulo del hombro de carga (521). Luego, el método operativo Cálculo de Llenado Volumétrico de Carga Total Dinámico (530) lee desde el DCS (290) los datos de operación necesarios, los que utiliza en conjunto con el ángulo del pie de carga (511) y ángulo del hombro de carga (521) para calcular el Llenado Volumétrico de Carga Dinámico (531). A partir de este valor y otros datos de proceso, realiza el método operativo Cálculo de Llenado Volumétrico de Bolas Dinámico (540), obteniendo como resultado el Llenado Volumétrico de Bolas Dinámico (541). Con este valor y con el



Llenado Volumétrico de Carga Dinámico (531) se calcula el Llenado Volumétrico de Mineral Dinámico (550) como la diferencia aritmética entre ambos. Finalmente, a partir del Llenado Volumétrico de Bolas Dinámico (541) y del Llenado Volumétrico de Mineral Dinámico (550) se estima la Densidad Aparente de la Carga (560), asumiendo que la densidad del mineral y de las bolas es conocida. Por último, todos los valores calculados son enviados al DCS (290) y opcionalmente a una pantalla de visualización de despliegue de resultados.

La figura 9 describe el método operativo para calcular el ángulo del pie de carga. A la señal resultante (501), se le aplica un filtro digital pasa altos de frecuencia de corte en 2 ó 3 KHz, de orden 6 y con corrección de fase (512). La corrección de fase se realiza mediante un procedimiento de doble filtrado, aplicando un filtro a los datos originales y luego otro filtro, de idénticas características, a la señal filtrada, pero invirtiendo el sentido de la señal. Luego, se obtiene la envolvente de la señal resultante, utilizando un proceso de rectificado (513) (valor absoluto) y filtrado a baja frecuencia (514). En la envolvente se busca el máximo de amplitud y se obtiene la posición angular relativa desde el eje angular, definiéndose así la posición angular absoluta del pie de carga respecto a la vertical del molino.

La figura 10 describe el método operativo para calcular el ángulo del hombro de carga. A la señal resultante (501), se le aplica un filtro digital pasa banda de frecuencias de corte en 180 y 400 Hz, de orden 6 y con corrección de fase (522). La corrección de fase se realiza mediante un procedimiento de doble filtrado, aplicando un filtro a los datos originales y luego otro filtro, de idénticas características, a la señal filtrada, pero invirtiendo el sentido de la señal. Luego, se obtiene la envolvente de la señal resultante, utilizando un proceso de rectificado (523) (valor absoluto) y filtrado a baja frecuencia (524). En la envolvente se busca el máximo de la señal y luego el primer mínimo, para, a partir de ahí, buscar la máxima pendiente positiva antes de llegar a la vertical del



18. Sistema según la reivindicación 16, CARACTERIZADO porque el sistema de carga es interno y en base a autogeneración, con acumulador intermedio, por medio de un generador tipo péndulo y dínamo aprovechando el giro del molino.
19. Sistema según la reivindicación 16, CARACTERIZADO porque el sistema de carga es interno y en base a autogeneración, con acumulador intermedio, por medio de un generador de tipo magnético, aprovechando la inducción del campo magnético presente en las inmediaciones del molino, como un arreglo de espiras que giran con el molino.
20. Sistema según las reivindicaciones anteriores, CARACTERIZADO porque los medios sensores acústicos inalámbricos además comprenden un medio de transmisión para transmitir una señal.
21. Sistema según la reivindicación 20, CARACTERIZADO porque además comprende medios de recepción inalámbricos para recibir dicha señal.
22. Sistema según la reivindicación 21 CARACTERIZADO porque los medios de procesamiento y control reciben una señal de los medios de recepción y una señal de los medios sensores de sincronismo, en donde los medios de recepción envían una señal análoga a dichos medios de procesamiento y control, que la recibe en una unidad conversora de señal análoga a digital; los medios sensores de sincronismo generan una primera señal de sincronismo para determinar la posición relativa de los medios sensores acústicos inalámbricos; los medios de procesamiento y control reciben dicha primera señal de sincronismo del sensor de sincronismo, que es procesada por un módulo de acondicionamiento que envía una segunda señal de



sincronismo a dicha unidad conversora de señal analógica a digital; dicha unidad conversora de señal analógica a digital entrega una señal digital a una CPU que maneja una interfaz de entrada/salida necesario para permitir la comunicación bidireccional, que puede ser analógica o digital, con el sistema de control del molino.

23. Sistema según la reivindicación 22, CARACTERIZADO porque además, posee medios de visualización que permite ver en tiempo real los valores estimados.

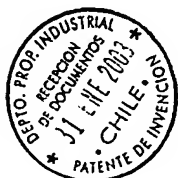
24. Método para estimar y analizar la carga interna dinámica en molinos rotatorios, para la molienda de minerales, CARACTERIZADO porque comprende los pasos de:

- a. sensar el sonido al interior del molino, mediante sensores acústicos inalámbricos adosados al manto o cubierta exterior de dicho molino rotatorio, entregando una señal de sonido;
- b. entregar una señal de sincronismo para sincronizar el movimiento rotatorio del molino; y
- c. procesar dicha señal de sonido y dicha señal de sincronismo para:
  - estimar el ángulo del pie de la carga, que corresponde a la posición estimada donde los levantadores entran en contacto con la carga en movimiento;
  - estimar el ángulo del hombro de la carga, que corresponde a la posición de donde la carga o catarata de carga comienza a caer hacia el pie de la carga;
  - estimar en línea, el llenado volumétrico de carga dinámico, cuando el molino se encuentra en operación.





25. Método según la reivindicación 24, CARACTERIZADO porque el molino rotatorio es un molino que utiliza bolas de acero como medio de molienda.
26. Método según la reivindicación 25, CARACTERIZADO porque la etapa de procesamiento además, incluye la etapa de estimar el llenado volumétrico de bolas dinámico de molienda.
27. Método según la reivindicación 26, CARACTERIZADO porque la etapa de procesamiento además, incluye la etapa de estimar el llenado volumétrico dinámico de mineral.
28. Método según la reivindicación 27, CARACTERIZADO porque la etapa de procesamiento además, incluye la etapa de estimar la densidad aparente de la carga.
29. Método según la reivindicación 28, CARACTERIZADO porque la etapa de entregar una señal de sincronismo comprende la etapa de detectar un elemento adosado al manto del molino, cada vez que se realiza una revolución de dicho molino.
30. Método según la reivindicación 29, CARACTERIZADO porque la etapa de sensor el sonido además comprende, la etapa de transmitir dicha señal de sonido.
31. Método según la reivindicación 30, CARACTERIZADO porque además comprende la etapa de recibir dicha señal de sonido y enviar dicha señal de sonido en forma análoga a dicha etapa de procesamiento.



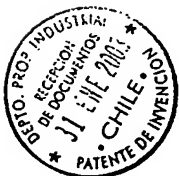
32. Método según la reivindicación 31, CARACTERIZADO porque la etapa de procesamiento además comprende:

- Recibir dicha señal de sonido y dicha señal de sincronismo;
- Generar una segunda señal de sincronismo para determinar la posición relativa de los medios sensores acústicos inalámbricos dispuestos en el manto del molino rotatorio;
- Procesar dichas señales en un conversor análogo/digital; y
- Entregar una señal digital de dicho conversor análogo/digital a una CPU que maneja una interfaz de entrada/salida necesario para permitir la comunicación bidireccional, que puede ser análoga o digital, con el sistema de control del molino.

33. Método según la reivindicación 32, CARACTERIZADO porque además, posee una etapa de visualización que permite ver en tiempo real los valores estimados.

34. Método según la reivindicación 24, CARACTERIZADO porque la etapa para estimar el ángulo del pie de la carga comprende las etapas de:

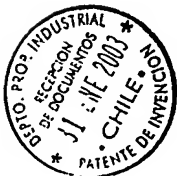
- Analizar las señales digitales del sonido y el pulso de sincronismo temporalmente para determinar la porción de sonido correspondiente a un giro completo del molino más el último cuarto del giro anterior y el primer cuarto del giro siguiente, haciéndose cero el primer y el último punto de la señal resultante, de tal modo de evitar los efectos de borde del proceso de filtrado posterior;
- Definir la referencia cero de la posición angular del sensor acústico en base a dicha señal de sincronismo;



- Aplicar la señal resultante un filtro digital pasa altos de frecuencia de corte en 2 ó 3 KHz, de orden 6 y con corrección de fase;
- Aplicar una corrección de fase mediante un doble filtrado, aplicando un filtro a la señal original y luego otro filtro, de idénticas características, a la señal filtrada, pero invirtiendo el sentido de la señal;
- Obtener la envolvente de la señal resultante, utilizando un proceso de rectificado (valor absoluto) y nuevamente filtrar a baja frecuencia;
- Buscar en la envolvente el máximo de amplitud; y
- Obtener la posición angular relativa del máximo encontrado desde el eje angular, definiéndose así la posición angular absoluta del pie de carga, respecto a la vertical del molino.

35. Método según la reivindicación 24, CARACTERIZADO porque la etapa para estimar el ángulo del hombro de la carga comprende las etapas de:

- Analizar las señales digitales del sonido y el pulso de sincronismo temporalmente para determinar la porción de sonido correspondiente a un giro completo del molino más el último cuarto del giro anterior y el primer cuarto del giro siguiente, haciéndose cero el primer y el último punto de la señal resultante, de tal modo de evitar los efectos de borde del proceso de filtrado posterior;
- Definir la referencia cero de la posición angular del sensor acústico en base a dicha señal de sincronismo;
- Aplicar a la señal resultante un filtro digital pasa banda de frecuencias de corte entre 180 y 400 Hz, de orden 6 y con corrección de fase;



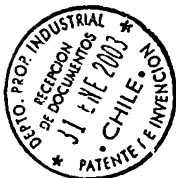
- Aplicar una corrección de fase mediante un procedimiento de doble filtrado, aplicando un filtro a la señal original y luego otro filtro, de idénticas características, a la señal filtrada, pero invirtiendo el sentido de la señal;
- Obtener la envolvente de la señal resultante, utilizando un proceso de rectificado (valor absoluto) y nuevamente filtrar a baja frecuencia;
- Buscar en la envolvente el máximo de la señal;
- Buscar el primer mínimo de la señal a partir del máximo encontrado;
- Buscar la máxima pendiente positiva a partir del primer mínimo encontrado y antes de llegar a la vertical del molino; y
- Obtener desde el eje angular la posición de la máxima pendiente positiva, definiéndose así la posición angular del hombro de carga, respecto a la vertical del molino.

36. Método según la reivindicación 24, CARACTERIZADO porque la etapa para estimar en línea, el llenado volumétrico de carga dinámico comprende las etapas de:

- Obtener el valor del ángulo del pie de carga  $\theta_p$ ;
- Obtener el valor del ángulo del hombro de la carga  $\theta_H$ ;
- Obtener la velocidad de rotación expresada como la fracción de velocidad crítica  $\phi_c$ ;
- Obtener el llenado volumétrico de carga total dinámico  $J_c$  según la relación:

$$J_c \% = \frac{\pi + A \cdot \theta_p \cdot (B + C \cdot \phi_c) - D \cdot \phi_c \cdot \theta_H}{E \cdot \theta_p}$$

donde A, B, C, D y E son constantes que deben ser determinadas en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del



sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino que dependen de aspectos constructivos y operacionales del molino y del nivel de desgaste de sus revestimientos internos, estas inspecciones visuales consisten en medir geométricamente el volumen ocupado por la carga total cuando el molino está detenido y con los datos obtenidos a partir de varias inspecciones se realiza un procedimiento de minimización de error cuadrático medio para obtener el valor de cada constante.

37. Método según la reivindicación 26 y 36, CARACTERIZADO porque la etapa para estimar el llenado volumétrico de bolas dinámico de molienda comprende las etapas de:

- Calcular el llenado volumétrico de carga total dinámico  $J_C$ ;
- Calcular el llenado volumétrico de bolas dinámico  $J_B$ , según la relación:

$$Pot = A_1 \cdot J_B \cdot K_p \cdot F_v \cdot F_D \cdot F_C;$$

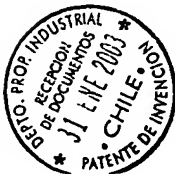
donde:  $Pot$  es la potencia eléctrica instantánea consumida por el molino;

$A_1$  es una constante que debe ser determinada en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino;

$F_v$  es el factor de velocidad del molino, que es calculado a partir de la relación:

$$F_v = \phi_C \cdot \left(1 - \frac{0.1}{2^{(9-10\phi_C)}}\right);$$

$F_D$  es calculado mediante la relación:



$$F_D = d_{eff}^{2.5} \cdot L_{mol};$$

donde  $d_{eff}$  es el diámetro medio interior del molino que efectivamente es utilizado en el proceso de molienda, valor que es variable en el tiempo y depende del tonelaje acumulado procesado por el molino;

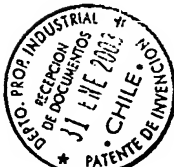
$L_{mol}$  es igual al largo efectivo del molino;

$F_C$  es el factor de carga interna calculado mediante la relación:

$$F_C = 1 - A_2 \cdot J_C;$$

donde  $A_2$  es una constante que debe ser determinada en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino; y

$K_p$  es una constante de potencia que debe ser determinada en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino, particularmente de la inspección del llenado volumétrico que ocupan las bolas después de un procedimiento de lavado del molino; donde dichas inspecciones visuales para determinar las constantes  $A_1$ ,  $A_2$  y  $K_p$  son obtenidas a partir de mediciones geométricas del volumen ocupado por las bolas cuando el molino está detenido, para lo cual debe vaciarse el mineral existente dentro del molino previo a la detención, procedimiento comúnmente llamado "grind-out" y utilizado por la mayoría de las plantas de molienda y con los datos obtenidos a partir de varias



inspecciones se realiza un procedimiento de minimización de error cuadrático medio para obtener el valor de cada constante.

38. Método según la reivindicación 27, CARACTERIZADO porque la etapa de estimar el llenado volumétrico de mineral dinámico se obtiene como la diferencia aritmética entre el llenado volumétrico de carga dinámico y el llenado volumétrico de bolas dinámico.

39. Método según la reivindicación 28, CARACTERIZADO porque la etapa para estimar la densidad aparente de la carga comprende las etapas de:

- Obtener la masa de mineral a partir del llenado volumétrico de mineral dinámico y la densidad del mineral que es conocida;
- Obtener la masa de las bolas a partir del llenado volumétrico de bolas dinámico y de la densidad de las bolas que es conocida;
- Obtener la masa total de la carga como la suma de la masa del mineral y de las bolas; y
- Obtener la densidad aparente de la carga como el cuociente entre la masa total de la carga y el llenado volumétrico total de carga.





100

1/10

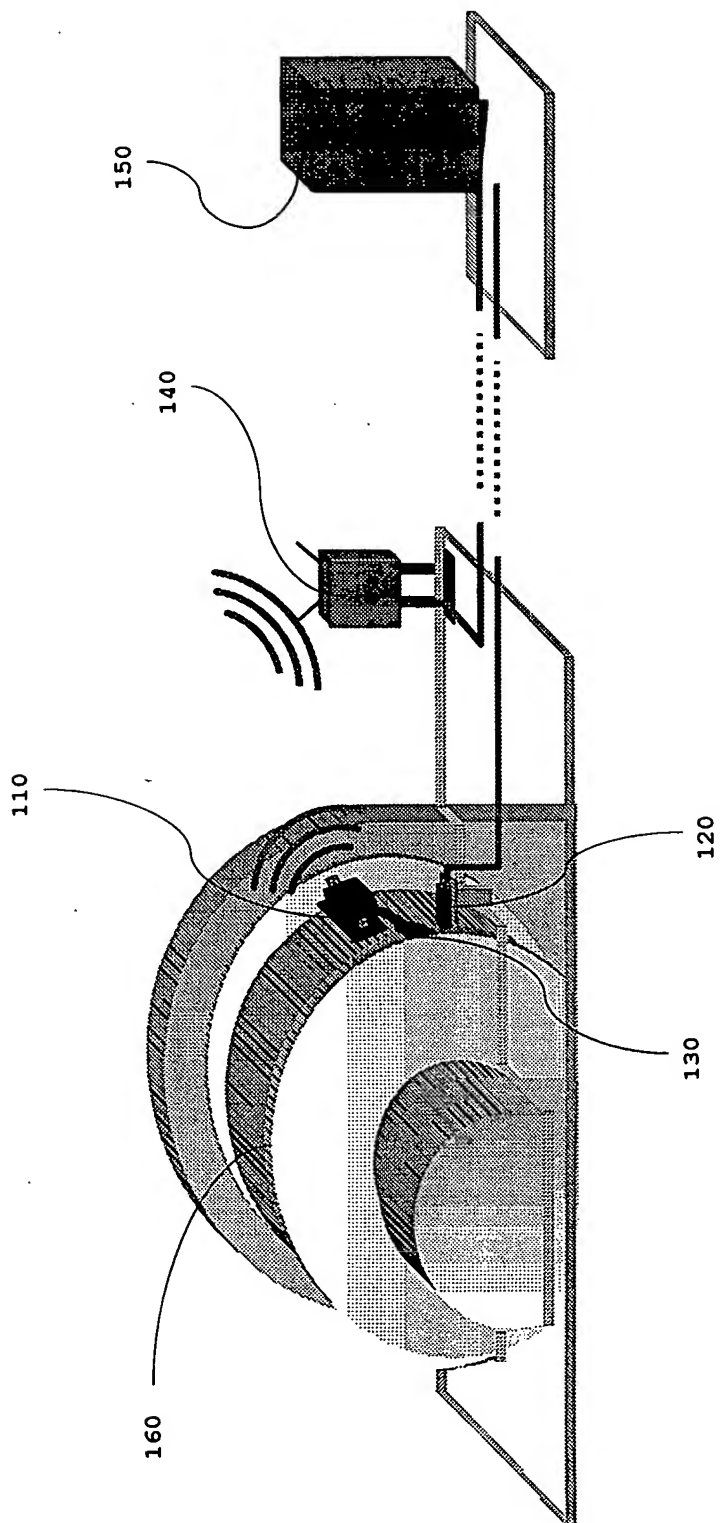


Figura 1



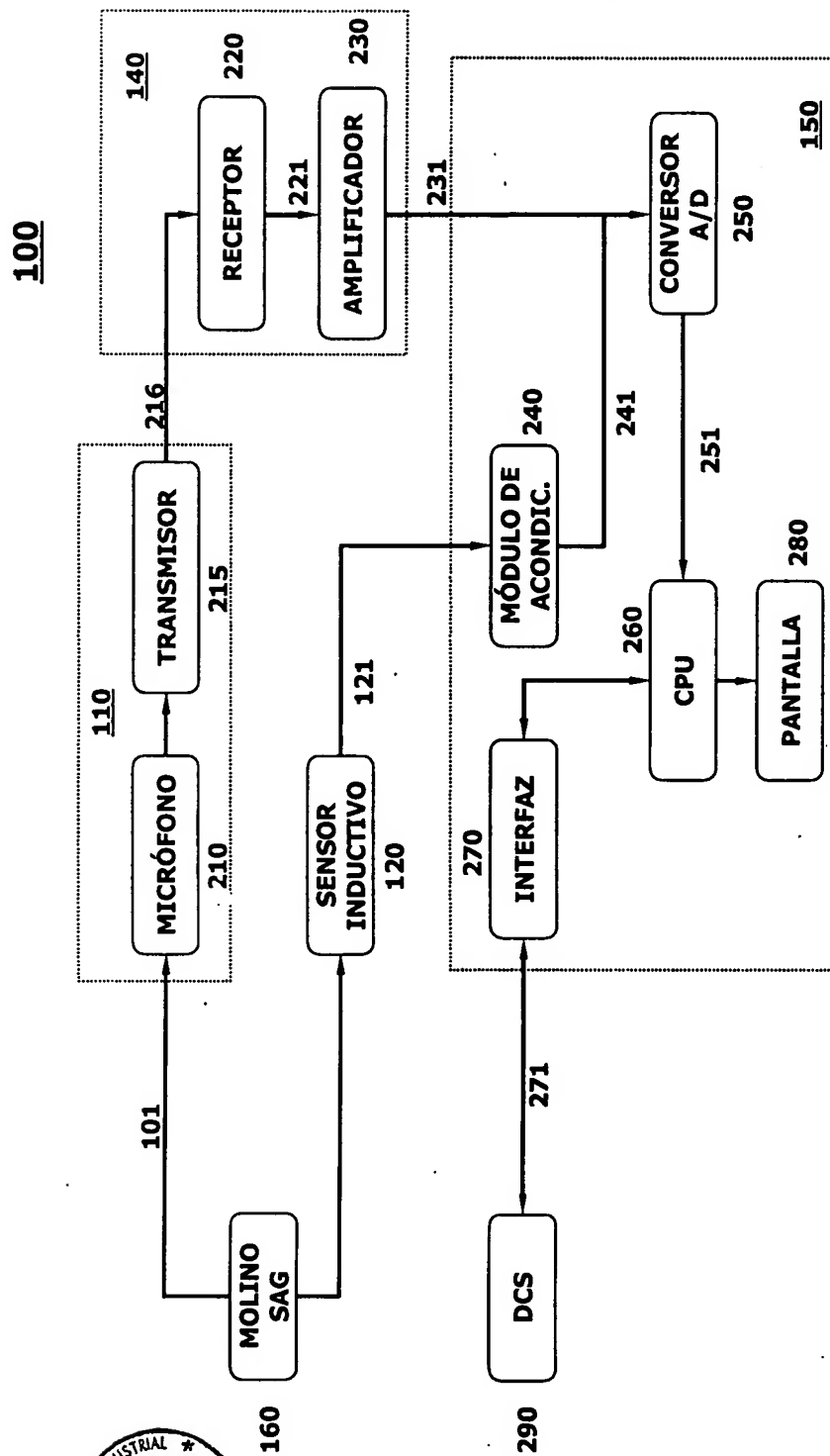


Figura 2



110

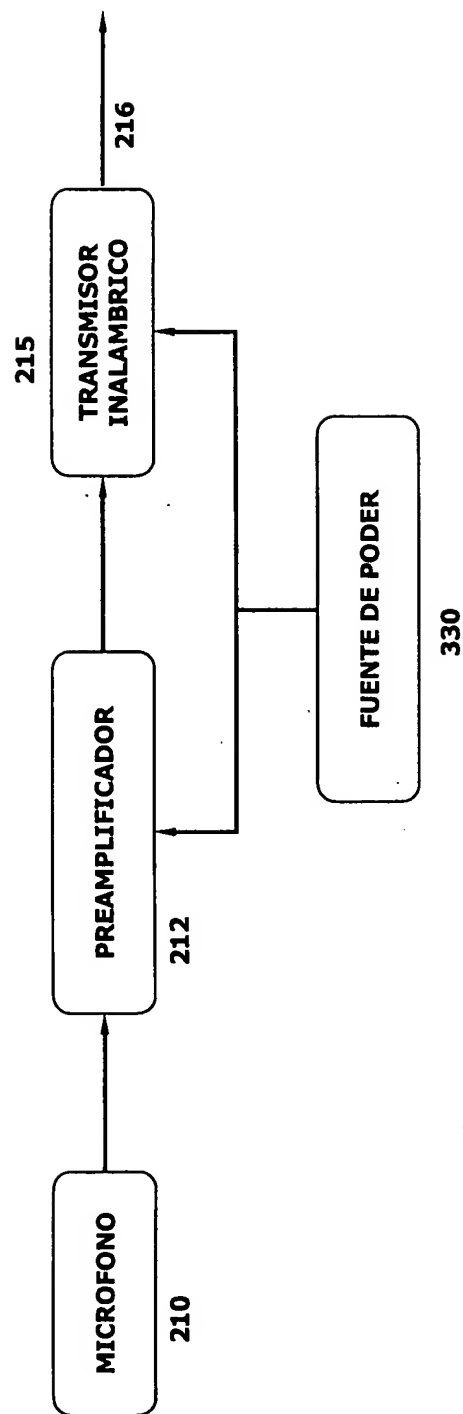


Figura 3



4/10

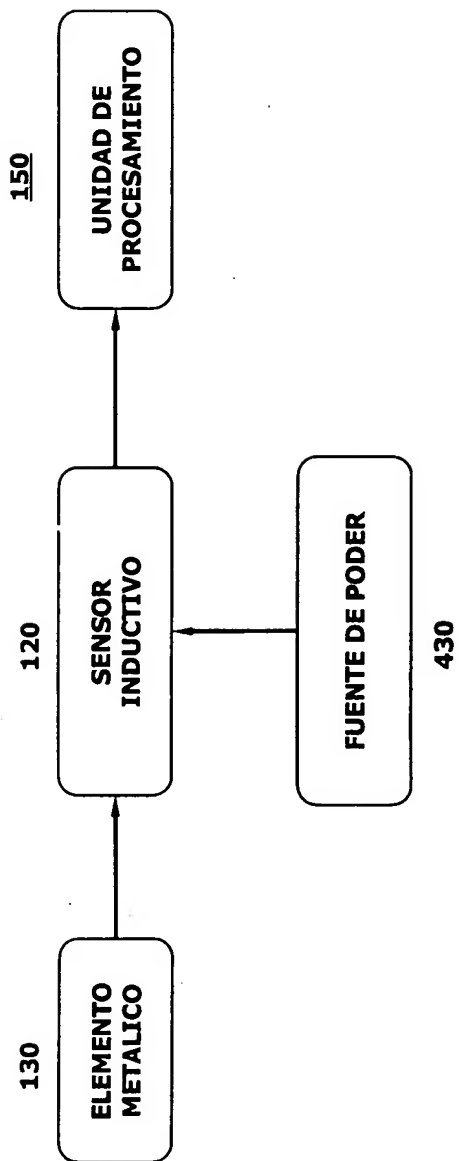
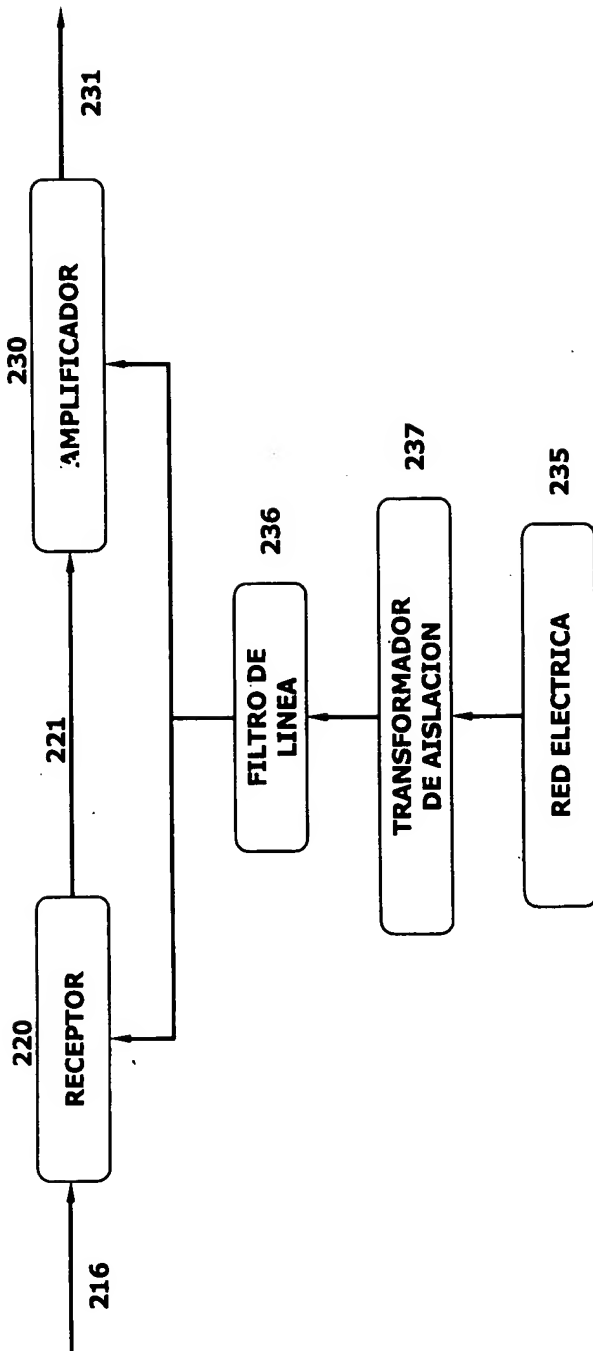


Figura 4



140



5/10

Figura 5



6/10

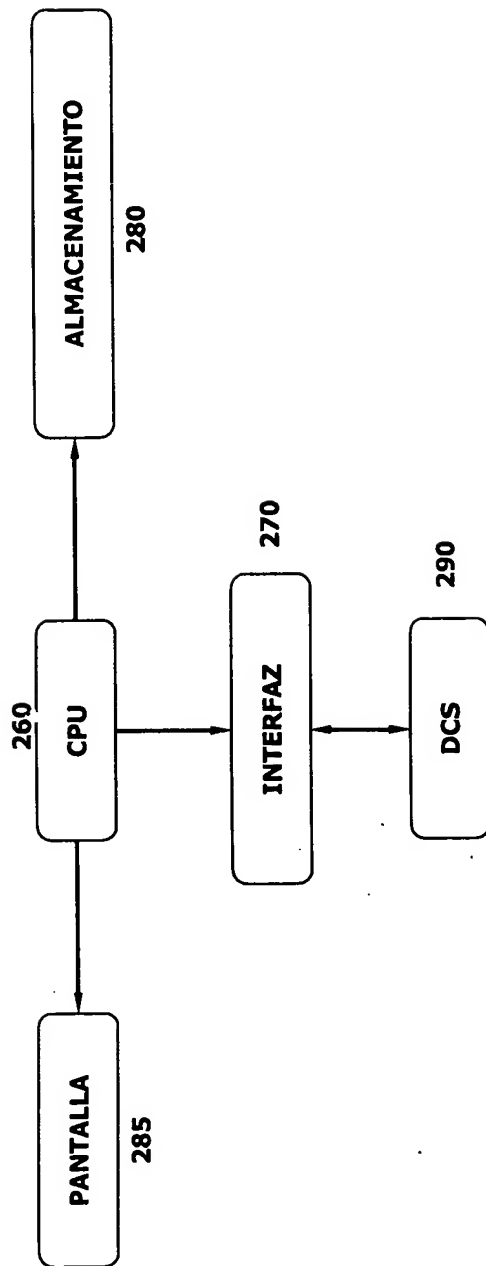


Figura 6

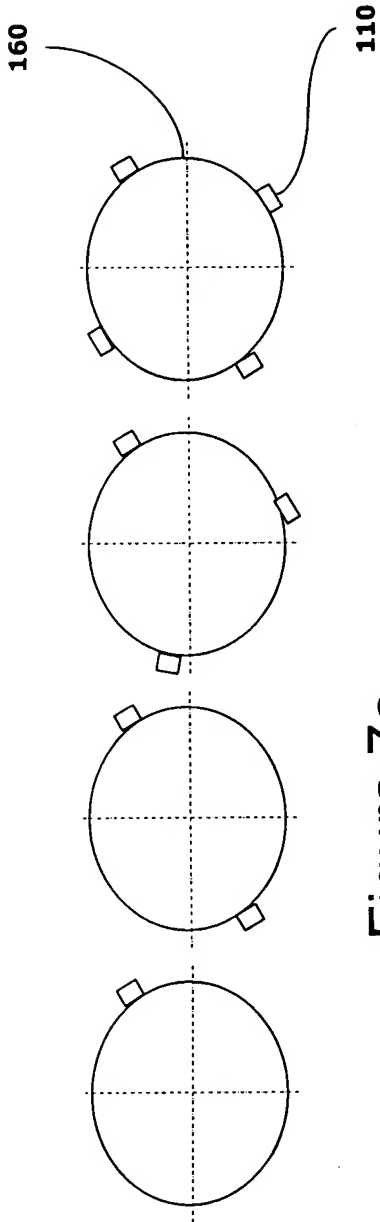


Figura 7a

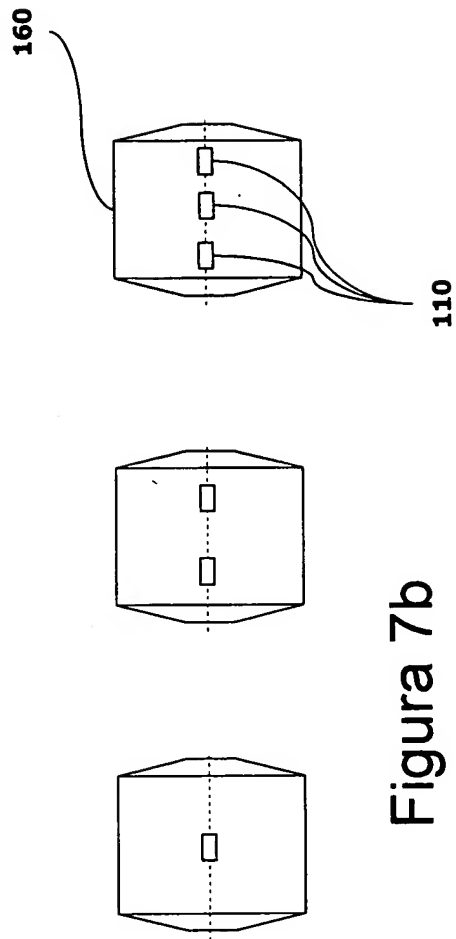


Figura 7b

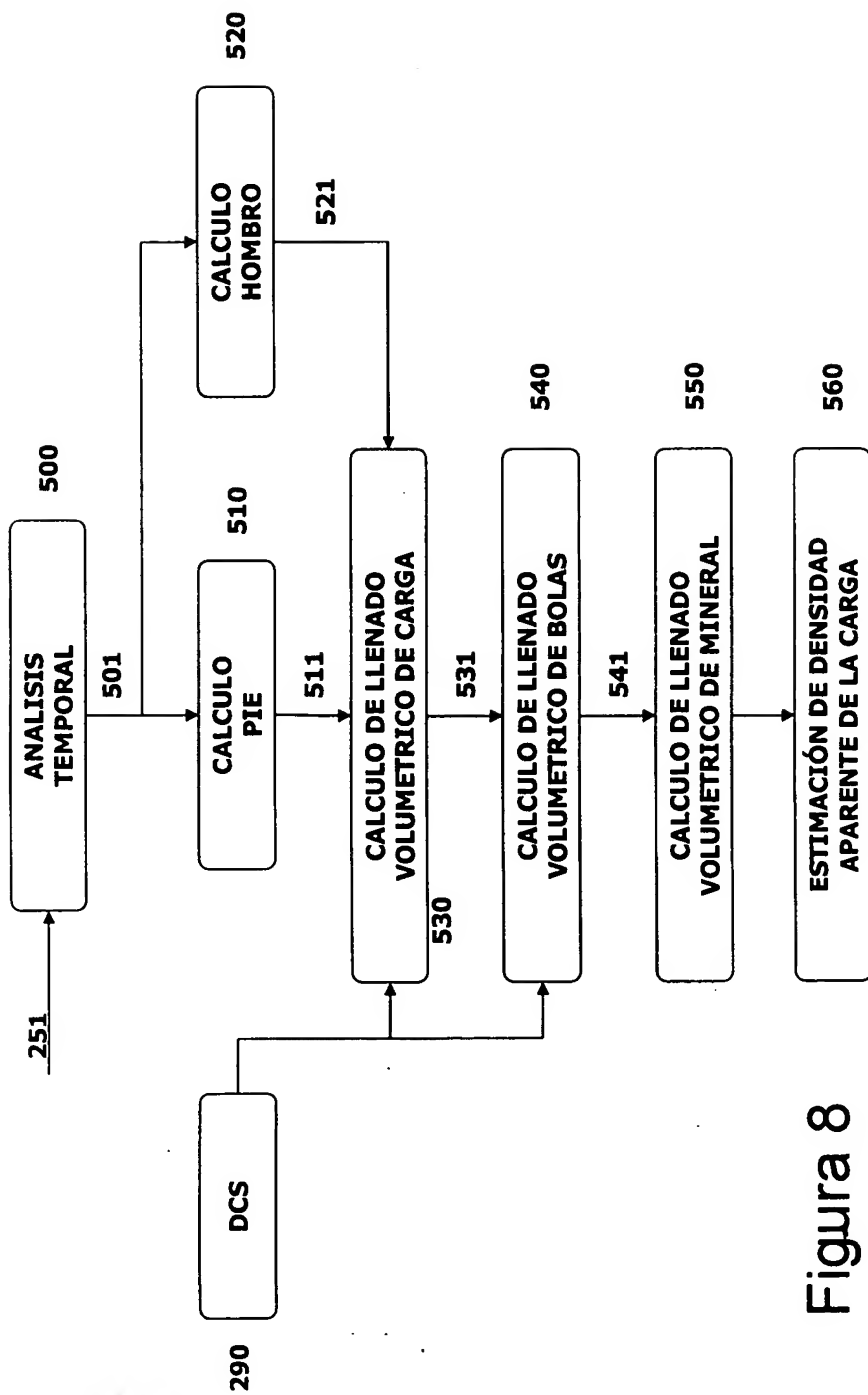


Figura 8



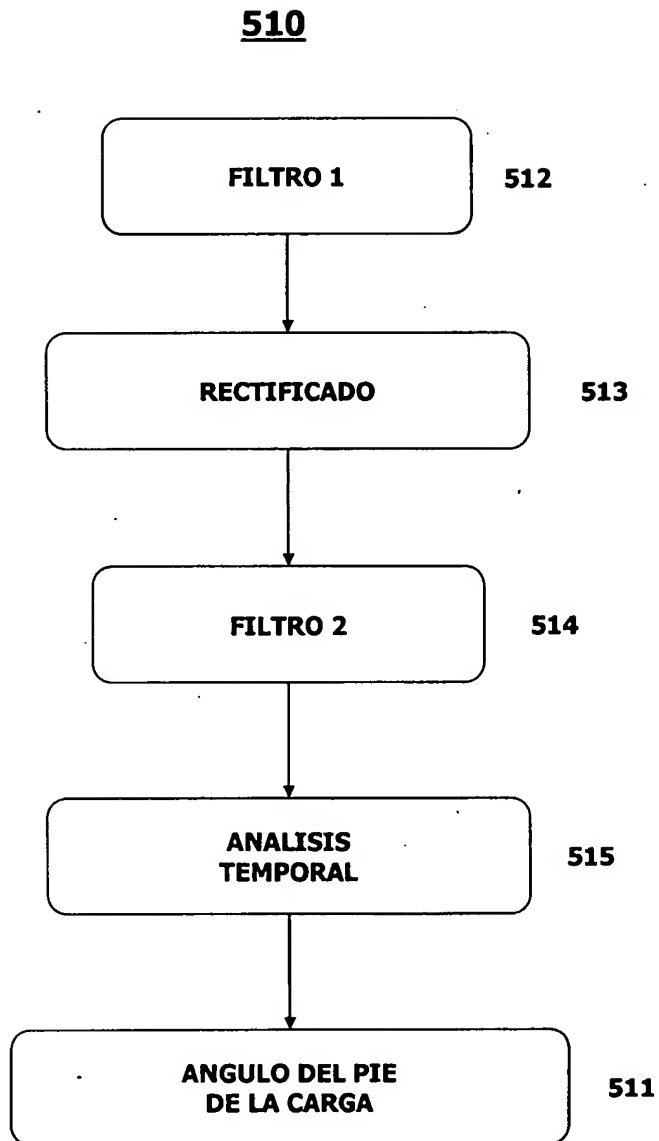


Figura 9





10/10

**520**

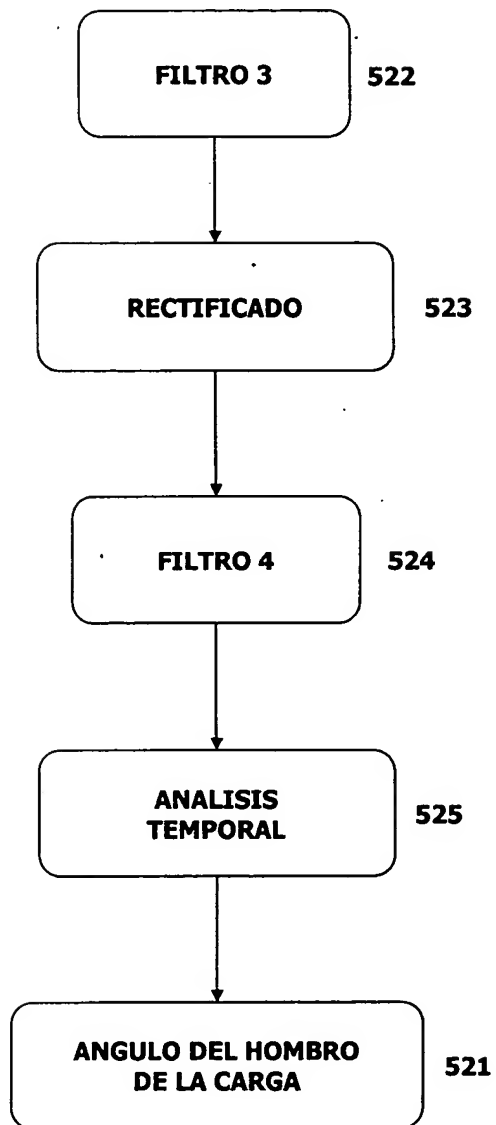


Figura 10



molino. Luego se obtiene la posición angular absoluta del hombro de carga a partir del eje angular de la señal original.

El llenado volumétrico de carga total dinámico  $J_c$  se obtiene a partir de la posición de la carga interna, pie  $\theta_p$  y hombro  $\theta_H$  de la carga, y de la velocidad de rotación expresada como la fracción de velocidad crítica  $\phi_c$ . La relación empleada es de la forma:

$$J_c \% = \frac{\pi + A \cdot \theta_p \cdot (B + C \cdot \phi_c) - D \cdot \phi_c \cdot \theta_H}{E \cdot \theta_p}$$

donde A, B, C, D y E son constantes que deben ser determinadas en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino. En general, dependen de aspectos constructivos y operacionales del molino y del nivel de desgaste de sus revestimientos internos. Las inspecciones visuales consisten en medir geométricamente el volumen ocupado por la carga total cuando el molino está detenido, a partir del cual es posible calcular el llenado volumétrico relativo al volumen total del molino. Con los datos obtenidos a partir de varias inspecciones se realiza un procedimiento de minimización de error cuadrático medio para obtener el valor de cada constante.

El llenado volumétrico de bolas dinámico  $J_b$  se obtiene a partir del llenado volumétrico de carga total dinámico  $J_c$  calculado por el sistema, de las variables de operación propias del proceso obtenidas desde el sistema de control de planta, tales como, potencia, flujo de agua de alimentación, flujo de mineral de alimentación, velocidad, tonelaje procesado, horas de operación, y de parámetros característicos de los medios de molienda, del mineral y del propio molino. El sistema acumula todos los



valores antes mencionados en cada ciclo de cálculo de  $J_c$ , el que generalmente ocurre cada 15 segundos. Una vez que ha transcurrido un tiempo aproximado de una hora, el sistema realiza un análisis de minimización del error cuadrático medio en el cálculo iterativo de la potencia consumida por el molino, variable leída desde el sistema de control de planta y por lo tanto conocida, entregando como resultado el valor de  $J_B$  donde el error es mínimo.

A continuación se detalla el conjunto de ecuaciones utilizadas en el proceso, que consisten en adaptaciones empíricas de modelos teóricos conocidos (modelos de potencia de Steve Morrel y de Fred Chester Bond):

La base de cálculo del nivel de llenado de bolas  $J_B$  es la potencia consumida por el molino, descrita a través de la relación:

$$Pot = A_1 \cdot J_B \cdot K_P \cdot F_V \cdot F_D \cdot F_C$$

donde  $J_C$  es el llenado de carga total dinámico calculado anteriormente.  $Pot$  es la potencia eléctrica instantánea consumida por el molino y  $A_1$  es una constante que debe ser determinada en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino. En general, el factor de velocidad  $F_V$  es calculado a partir de la relación:

$$F_V = \phi_C \cdot \left(1 - \frac{0.1}{2^{(9-10\phi_C)}}\right)$$

El factor de diseño  $F_D$  es calculado mediante la relación:

$$F_D = d_{eff}^{2.5} \cdot L_{mol}$$



donde  $d_{eff}$  es el diámetro medio interior del molino que efectivamente es utilizado en el proceso de molienda, valor que es variable en el tiempo y depende del tonelaje acumulado procesado por el molino.  $L_{mol}$  es igual al largo efectivo del molino.

El factor de carga interna  $F_c$  es calculado mediante la relación:

$$F_c = 1 - A_2 \cdot J_c$$

donde  $A_2$  es una constante que debe ser determinada en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino.

La constante de potencia  $K_p$  debe ser determinada en forma experimental durante la etapa de puesta en marcha y calibración del sistema mediante varias inspecciones visuales del estado de la carga dentro del molino, particularmente de la inspección del llenado volumétrico que ocupan las bolas después de un procedimiento de lavado del molino.

Las inspecciones visuales para determinar las constantes  $A_1$ ,  $A_2$  y  $K_p$  son obtenidas a partir de mediciones geométricas del volumen ocupado por las bolas cuando el molino está detenido. En este caso, debe vaciarse el mineral existente dentro del molino previo a la detención, procedimiento comúnmente llamado "grind-out" y utilizado por la mayoría de las plantas de molienda. Con los datos obtenidos a partir de varias inspecciones se realiza un procedimiento de minimización de error cuadrático medio para obtener el valor de cada constante.

Con los valores del Llenado Volumétrico de Bolas Dinámico y del Llenado Volumétrico de Carga Dinámico se calcula el Llenado Volumétrico de Mineral Dinámico como la diferencia aritmética entre ambos. Finalmente, a partir del Llenado Volumétrico de Bolas Dinámico y del Llenado Volumétrico de Mineral Dinámico se estima la



Densidad Aparente de la Carga, como el cuociente entre la masa total de la carga y Llenado Volumétrico de carga Dinámico. La masa total de carga se obtiene como la suma de la masa de mineral y la masa de bolas, asumiendo que la densidad del mineral y de las bolas son constantes conocidas.

Los medios de visualización se encargan de representar gráfica y numéricamente los resultados generados por el sistema. Opcionalmente, se puede utilizar, también, para la configuración de los parámetros del sistema.



## REIVINDICACIONES

1. Sistema para estimar y analizar la carga interna dinámica en molinos rotatorios, para la molienda de minerales, CARACTERIZADO porque comprende:
  - a) medios sensores acústicos inalámbricos para sensar el sonido al interior del molino y adosados al manto o cubierta exterior de dicho molino rotatorio;
  - b) medios sensores de sincronismo para sincronizar el movimiento rotatorio del molino; y
  - c) medios de procesamiento y control para:
    - estimar el ángulo del pie de la carga, que corresponde a la posición estimada donde los levantadores entran en contacto con la carga en movimiento;
    - estimar el ángulo del hombro de la carga, que corresponde a la posición de donde la carga o catarata de carga comienza a caer hacia el pie de la carga;
    - estimar en línea, el llenado volumétrico de carga dinámico, cuando el molino se encuentra en operación.
2. Sistema según la reivindicación 1, CARACTERIZADO porque el molino rotatorio es un molino que utiliza bolas de acero como medio de molienda.
3. Sistema según la reivindicación 2, CARACTERIZADO porque los medios de procesamiento y control además, estiman el llenado volumétrico de las bolas de molienda.



4. Sistema según la reivindicación 3, CARACTERIZADO porque los medios de procesamiento y control además, estiman la densidad aparente de la carga.
5. Sistema según la reivindicación 4, CARACTERIZADO porque los medios sensores de sincronismo son del tipo inductivo.
6. Sistema según la reivindicación 4, CARACTERIZADO porque los medios sensores de sincronismo son del tipo capacitivo.
7. Sistema según la reivindicación 4, CARACTERIZADO porque los medios sensores de sincronismo son del tipo óptico.
8. Sistema según la reivindicación 5 ó 6 ó 7, CARACTERIZADO porque los medios sensores de sincronismo detectan un elemento adosado al manto del molino, cada vez que se realiza una revolución de dicho molino.
9. Sistema según la reivindicación 8, CARACTERIZADO porque dicho elemento adosado al manto del molino está contenido en, a lo menos, un medio sensor acústico inalámbrico.
10. Sistema según la reivindicación 8 ó 9, CARACTERIZADO porque dichos medios sensores acústicos inalámbricos se disponen en un grupo sobre el manto del molino.
11. Sistema según la reivindicación 8 ó 9, CARACTERIZADO porque dichos medios sensores acústicos inalámbricos se disponen en dos grupos distribuidos sobre el manto del molino, en 180°.



12. Sistema según la reivindicación 8 ó 9, CARACTERIZADO porque dichos medios sensores acústicos inalámbricos se disponen en tres grupos distribuidos sobre el manto del molino, en 120°.
13. Sistema según la reivindicación 8 ó 9, CARACTERIZADO porque dichos medios sensores acústicos inalámbricos se disponen en cuatro grupos distribuidos sobre el manto del molino, en 90°.
14. Sistema según la reivindicación 10 a 13, CARACTERIZADO porque cada dicho grupo está formado por al menos un sensor acústico inalámbrico.
15. Sistema según la reivindicación 14, CARACTERIZADO porque cada dicho grupo está dispuesto sobre el manto del molino según su eje longitudinal.
16. Sistema según la reivindicación 15, CARACTERIZADO porque los medios sensores acústicos inalámbricos están alimentados por una fuente de poder que tiene asociado un sistema de carga externa, que es utilizado para recargar las celdas de las baterías una vez que han agotado su capacidad.
17. Sistema según la reivindicación 16, CARACTERIZADO porque el sistema de carga externa está compuesto por circuitos de carga independiente en igual número que la cantidad de celdas utilizadas y posee control de carga por corriente, por voltaje, protecciones de temperatura y de tiempo máximo de carga.

